

## METHOD OF PATTERNING AND FABRICATING POLED DIELECTRIC MICROSTRUCTURE WITHIN DIELECTRIC MATERIAL

Publication number: JP2003307758

Publication date: 2003-10-31

Inventor: LIN TZE-CHIA; CHIANG TSUNG-YUAN; SHER PIN-HAO; CHEN YEN-HUNG; CHOU MING-HSIEN

Applicant: HC PHOTONICS CORP

Classification:

- International: G02F1/37; G02F1/355; G02F1/35; (IPC1-7): G02F1/37

- european: G02F1/355R

Application number: JP20030075070 20030319

Priority number(s): US20020100738 20020319

Also published as:

US6900928 (B2)

US2003179439 (A)

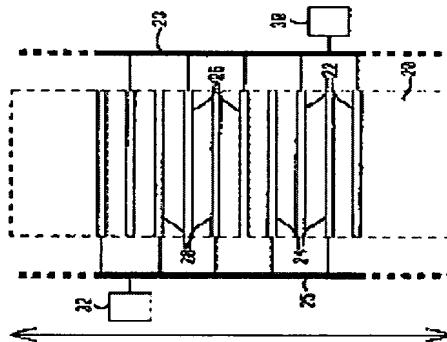
[Report a data error](#)

### Abstract of JP2003307758

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures in dielectric materials.

SOLUTION: The poled dielectric microstructure is formed within the dielectric material. The poled dielectric microstructure is then segmented into a plurality of independent sub-structures. The poled dielectric microstructures are then fabricated within each of the plurality of the independent sub-structures. Further, additional processes and a novel poling setup for improving and implementing the patterning and fabrication method are also disclosed.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-307758

(P2003-307758A)

(43)公開日 平成15年10月31日 (2003.10.31)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 F 1/37

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 F 1/37

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数59 O L 外国語出願 (全 59 頁)

(21)出願番号 特願2003-75070(P2003-75070)

(22)出願日 平成15年3月19日 (2003.3.19)

(31)優先権主張番号 10/100738

(32)優先日 平成14年3月19日 (2002.3.19)

(33)優先権主張国 米国 (U.S.)

(71)出願人 502395882

エイチシー・フォトニクス・コーポレーション

台湾 シンチュー, サイエンスベースト・インダストリアル・パーク, テクノロジー・ロード・ブイ, 4エフ, ナンバー2

(72)発明者 ツェーチア・リン

台湾 108 タイペイ, ワンフワ・チウ, シュアンギュアン・ストリート, レイン40, 2エフ, ナンバー6

(74)代理人 100089705

弁理士 村本 一夫 (外5名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 分極反転誘電体微小構造を誘電体材料内にパターン化し製造する方法

(57)【要約】

【課題】 誘電体材料に分極反転誘電体微小構造をパターン化し製造する方法を提供する。

【解決手段】 誘電体材料内に分極反転誘電体微小構造を形成する。次いで、分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする。その後、分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造の各々内に製造する。更に、本パターン化-製造方法を改良し実施するための追加のプロセス及び新規なボーリングセットアップを開示する。

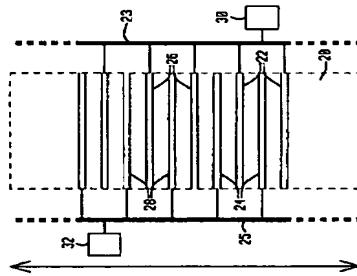


FIG. 1b

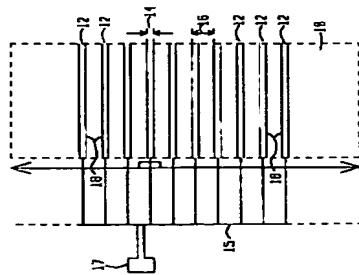


FIG. 1a -  
従来技術

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 誘電体材料に分極反転誘電体微小構造をパターン化し製造する方法において、前記一の分極反転誘電体微小構造を誘電体材料内に形成する工程、前記一の分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする工程、及び前記分極反転誘電体微小構造を前記複数の独立したサブ構造の各々内に製造する工程を含む、方法。

【請求項2】 請求項1に記載の方法において、前記誘電体材料は、強誘電体材料、ガラス材料、及びポリマー材料からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項3】 請求項1に記載の方法において、前記誘電体材料は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KTiOPO}_4$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{BaB}_2\text{O}_4$ 、及び $\text{MgO:LiNbO}_3$ 及び $\text{ZnO:LiNbO}_3$ 等のそれらの系統； $\text{SiO}_2$ 、 $\text{GeO}_2\text{SiO}_2$ 、石英ガラス又は珪酸塩ファイバ等のガラス材料、及び分散 $\text{Red}$ 、側鎖ポリマー等のポリマー材料からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項4】 請求項1に記載の方法において、前記誘電体材料は、 $\text{LiNbO}_3$ 及び $\text{LiTaO}_3$ 等の強誘電体材料、及び一致溶融の $\text{LiNbO}_3$ 、(CLN)及び化学量論的 $\text{LiNbO}_3$ 、(SLN)等のそれらの系統；及び $\text{MgO:CLN}$ 、 $\text{ZnO:CLN}$ 、 $\text{MgO:SLN}$ 、 $\text{ZnO:SLN}$ 等のドーピングした上掲の結晶からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項5】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きい、方法。

【請求項6】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項7】 請求項1に記載の方法において、前記パターン化し製造した分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項8】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項9】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化され製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項10】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

## 方法。

【請求項11】 請求項1に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項12】 請求項1に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、前記誘電体材料の両側に形成される、方法。

10 【請求項13】 請求項1に記載の方法において、前記誘電体材料は、X-カット、Y-カット、及びZ-カットからなる群から選択された結晶配向を有する、方法。

【請求項14】 請求項1に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、液体接触電極を使用して製造される、方法。

【請求項15】 請求項1に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、予め配線した導線を通して電圧を順次加えることによって製造される、方法。

20 【請求項16】 請求項1に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、移動ステージを通して前記独立したサブ構造の各々についての接触点に電圧を加えることによって製造される、方法。

【請求項17】 請求項1に記載の方法において、前記誘電体材料は、前記分極反転誘電体微小構造の製造中の誘電体材料の温度変化によって調節される結晶特性を有する、方法。

【請求項18】 請求項1に記載の方法において、前記製造されたポールド誘電体微小構造は、

30 1) 非線形周波数変換についての擬似位相整合 (QPM)、及び紫外線、可視光、赤外線、Q-スイッチバルス及び超短バルスの発生、

2) 第2高調波発生 (SHG)、和周波発生 (SF)、差周波発生 (DFG)、光パラメトリック発振 (OPO)、光パラメトリック発生 (OPG)、およびカスケード型周波数変換による変換プロセス、

3) レーザーディスプレー、レーザースキャナ、レーザープリンティング、レーザー分光器用の光源、感知及び検出器の用途、及び生物学及び医学の用途、

40 4) 光ファイバ通信及び光信号演算処理用の光周波ミキサー、

5) ビームスキャナ用電気光学 (EO) モジュレータ、センサ、及び高速モジュレータ、及び

6) 音響光学 (AO) モジュレータ及びグレーティング補助装置からなる群から選択された手法に使用できる、方法。

【請求項19】 誘電体材料に分極反転誘電体微小構造をパターン化し製造する方法において、

一の分極反転誘電体微小構造を、強誘電体材料、ガラス材料、及びポリマー材料からなる群から選択された材料

でできている誘電体材料内に形成する工程、

前記分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする工程、及び前記分極反転誘電体微小構造を前記複数の独立したサブ構造の各々内に製造する工程を含む、方法。

【請求項20】 請求項19に記載の方法において、前記誘電体材料構造は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KTiOPO}_4$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{BaB}_2\text{O}_4$ 、及び $\text{MgO:LiNbO}_3$ 及び $\text{ZnO:LiNbO}_3$ 等のそれらの系統； $\text{SiO}_2$ 、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、石英ガラス及び珪酸塩ファイバ等のガラス材料、及び分散 $\text{Re}_d$ 、側鎖ポリマー等のポリマー材料からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項21】 請求項19に記載の方法において、前記誘電体材料は、 $\text{LiNbO}_3$ 及び $\text{LiTaO}_3$ 等の強誘電体材料、及び一致溶融の $\text{LiNbO}_3$ 、(CLN)及び化学量論的 $\text{LiNbO}_3$ 、(SLN)等のそれらの系統；及び $\text{MgO:CLN}$ 、 $\text{ZnO:CLN}$ 、 $\text{MgO:SLN}$ 、 $\text{ZnO:SLN}$ 等のドーピングした上掲の結晶からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項22】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きい、方法。

【請求項23】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項24】 請求項19に記載の方法において、前記パターン化した製造した分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項25】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項26】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項27】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項28】 請求項19に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項29】 請求項19に記載の方法において、前

記分極反転誘電体微小構造は、前記誘電体材料の両側に形成される、方法。

【請求項30】 請求項19に記載の方法において、前記誘電体材料は、X-カット、Y-カット、及びZ-カットからなる群から選択された結晶配向を有する、方法。

【請求項31】 請求項19に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、液体接触電極を使用して製造される、方法。

10 【請求項32】 請求項19に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、予め配線した導線を通して電圧を順次加えることによって製造される、方法。

【請求項33】 請求項19に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、移動ステージを通して前記独立したサブ構造の各々についての接触点に電圧を加えることによって製造される、方法。

【請求項34】 請求項19に記載の方法において、前記誘電体材料は、前記分極反転誘電体微小構造の製造中の誘電体材料の温度変化によって調節される結晶特性を有する、方法。

【請求項35】 請求項19に記載の方法において、前記製造された分極反転誘電体微小構造は、

1) 非線形周波数変換についての擬似位相整合(QPM)、及び紫外線、可視光、赤外線、Q-スイッチバルス及び超短バルスの発生、

2) 第2高調波発生(SHG)、和周波発生(SFG)、差周波発生(DFG)、光バラメトリック発振(OPO)、光バラメトリック増幅(OPA)、光バラメトリック発生(OPG)、およびカスケード型周波数

30 変換による変換プロセス、

3) レーザーディスプレー、レーザースキャナ、レーザープリンティング、レーザー分光器用の光源、感知及び検出器の用途、及び生物学及び医学の用途、

4) 光ファイバ通信及び光信号演算処理用の光周波ミキサー、

5) ビームスキャナ用電気光学(EO)モジュレータ、センサ、及び高速モジュレータ、及び

6) 音響光学(AO)モジュレータ及びグレーティング補助装置からなる群から選択された方法で使用できる、方法。

40 【請求項36】 誘電体材料に分極反転誘電体微小構造をパターン化し製造する方法において、

一の分極反転誘電体微小構造を、X-カット、Y-カット、及びZ-カットからなる群から選択された結晶配向を有する誘電体材料であって、強誘電体材料、ガラス材料、及びポリマー材料からなる群から選択された材料でできている誘電体材料内に形成する工程、

前記一の分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする工程、及び前記分極反転誘電体微小構造を前記複数の独立したサブ構造の各々内に製

50

造する工程を含む、方法。

【請求項37】 請求項36に記載の方法において、前記誘電体材料は、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、KTiOPO<sub>4</sub>、KNbO<sub>3</sub>、BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、及びMgO:LiNbO<sub>3</sub>及びZnO:LiNbO<sub>3</sub>等のそれらの系統；SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、石英ガラス及び珪酸塩ファイバ等のガラス材料；及び分散Red、側鎖ポリマー等のポリマー材料からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項38】 請求項36に記載の方法において、前記誘電体材料は、LiNbO<sub>3</sub>及びLiTaO<sub>3</sub>等の強誘電体材料、及び一致溶融のLiNbO<sub>3</sub> (CLN) 及び化学量論的LiNbO<sub>3</sub> (SLN) 等のそれらの系統；及びMgO:CLN、ZnO:CLN、MgO:SLN、ZnO:SLN等のドーピングした上掲の結晶からなる群から選択された材料でできている、方法。

【請求項39】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きい、方法。

【請求項40】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項41】 請求項36に記載の方法において、前記パターン化した製造した分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項42】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さい、方法。

【請求項43】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記誘電体材料構造よりも周期が大きく且つボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項44】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりも周期が大きく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項45】 請求項36に記載の方法において、前記複数の独立したサブ構造は、前記一の分極反転誘電体微小構造よりもボーリングパターンの面積が小さく、前記パターン化された製造された分極反転誘電体微小構造は、核生成されている、方法。

【請求項46】 請求項36に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、前記誘電体材料の両側に形成される、方法。

【請求項47】 請求項36に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、液体接触電極を使用して

製造される、方法。

【請求項48】 請求項36に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、予め配線した導線を通して電圧を順次加えることによって製造される、方法。

【請求項49】 請求項36に記載の方法において、前記分極反転誘電体微小構造は、移動ステージを通して前記独立したサブ構造の各々についての接触点に電圧を加えることによって製造される、方法。

【請求項50】 請求項36に記載の方法において、前記誘電体材料は、前記分極反転誘電体微小構造の製造中の誘電体材料の温度変化によって調節される結晶特性を有する、方法。

【請求項51】 請求項36に記載の方法において、前記製造されたポールド誘電体微小構造は、

1) 非線形周波数変換についての擬似位相整合 (QPM)、及び紫外線、可視光、赤外線、Q-スイッチバルス及び超短バルスの発生、

2) 第2高調波発生 (SHG)、和周波発生 (SF) G)、差周波発生 (DFG)、光バラメトリック発振 (OPA)、光バラメトリック増幅 (OPA)、光バラメトリック発生 (OPG)、カスケード型周波数変換による変換プロセス、

3) レーザーディスプレー、レーザースキャナ、レーザープリンティング、レーザー分光器用の光源、感知及び検出器の用途、及び生物学及び医学の用途、

4) 光ファイバ通信及び光信号演算処理用の光周波ミキサー、

5) ビームスキャナ用電気光学 (EO) - 光モジュレータ、センサ、及び高速モジュレータ、及び

30 6) 音響光学 (AO) モジュレータ及びグレーティング補助装置からなる群から選択された方法で使用できる、方法。

【請求項52】 請求項36に記載の方法において、ドメイン成長拘束層としてイオン交換パターンを含む、方法。

【請求項53】 請求項1に記載の方法において、ドメイン成長拘束層としてイオン交換パターンを含む、方法。

【請求項54】 請求項19に記載の方法において、ドメイン成長拘束層としてイオン交換パターンを含む、方法。

【請求項55】 誘電体材料ウェーハを電気的に極性調整するためのボーリングセットアップにおいて、真空チャンバ内でウェーハベース上に配置された前記誘電体材料ウェーハであって、前記ウェーハベースが、このウェーハベースの位置を制御するための位置制御装置に連結されている、誘電体材料ウェーハ、前記誘電体材料ウェーハと近接して配置された、二つ又はそれ以上の電極サブセットに分割されたパターンをなした電極、

前記パターンをなした電極に導線によって接続された電圧-電流源、

前記電圧-電流源にスイッチングボックスによって接続された高圧設備、及び前記高圧設備、前記スイッチングボックス、及び前記位置制御装置に電気的に接続されており、これらを制御する中央演算処理ユニット(CPU)を含む、ボーリングセットアップ。

【請求項56】 請求項55に記載のボーリングセットアップにおいて、前記真空チャンバに連結された真空ポンプを更に含む、ボーリングセットアップ。

【請求項57】 請求項55に記載のボーリングセットアップにおいて、前記真空チャンバに連結された乾燥室素源を更に含む、ボーリングセットアップ。

【請求項58】 請求項55に記載のボーリングセットアップにおいて、前記真空チャンバに連結された真空ポンプ、及び前記真空チャンバに連結された乾燥室素源を更に含む、ボーリングセットアップ。

【請求項59】 請求項55に記載のボーリングセットアップにおいて、前記ウェーハベースに連結されたウェーハ加熱エレメントを更に含む、ボーリングセットアップ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、概ね誘電体材料の技術に関し、より具体的には、本発明は、誘電体材料内に分極反転誘電体微小構造をパターン形成し製造する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 誘電体材料内に微小構造をパターン形成し製造することにより、材料工学における新たな広がりを可能にし、及びかくして誘電体材料を様々な用途で使用するための新たな機会を開く。集積回路(IC)及び半導体レーザー用の半導体材料の設計及び加工の可能性は、このような新たな寸法及び機会と関連しており、現在、誘電体材料に対して提供されている。

【0003】 微小構造工学を誘電体材料内で実施する可能性が、例えば、周期分極反転リチウムニオベート(PPLN)、周期分極反転リチウムタンタレート(PPLT)、及び周期分極反転KTiOPO<sub>4</sub>(PPKTP)等の強誘電体材料のドメイン反転で示されてきた。ガラス材料のボーリング又はポリマー材料のボーリング等の他の材料でも進歩が示されてきた。

【0004】 分極反転誘電体微小構造の用途の例は、二次非線形磁化率を持つ誘電体材料の擬似位相整合(QPM)非線形周波数変換である。例えば、(1)第2高調波発生(SHG)又は和周波発生(SFG)によって紫外線及び可視光を発生でき、(2)差周波発生(DFG)、光パラメトリック発振(OPO)、光パラメトリック增幅(OPA)、及び光パラメトリック発生(OPG)によって赤外線を発生でき、(3)遠隔通信及び光

信号演算処理を行うために光周波ミキサー(OFM)を使用できる。この他の例には、ビームスキャナ、センサ、高速モジュレータ、等用の電気光学(EO)モジュレータが含まれる。

【0005】 以上の例示の用途を実現するための主要なファクタの一つは、適正な材料内に所望の微小構造をパターン化し製造する性能に左右される。従来技術は、電界極性調整又は熱極性調整による強誘電体分域反転等の基本的パターン化および製造方法を提供する。しかしながら、所望のパターン化構造が、比較的短い強誘電体分域周期又は非振動的周期を持つパターン構造等の更に微細な微小構造を必要とするため、所望のパターン構造を得るまでの挑戦がなされている。更に、これらの方では、必ずしも、幾つかの他の適正な材料の製造について使用できず、又は最適でない。これに加え、これらの方では、更に、面積が大きいパターン化微小構造の製造において大規模化及び歩留りの問題に直面する。

【0006】 誘電体微小構造のボーリングにおける鍵となる挑戦の一つは、電界ボーリングプロセス中の誘電体材料の本体内の電界-電気双極子干渉である。このような電界-電気双極子干渉は、ドメイン構造を不均等にし、ピッチ(周期)が短い分域の発生を困難にする。誘電体微小構造のボーリングにおける追加の挑戦は、ボーリング面積の大規模化に対する。ボーリング面積が大きくなると、全体として必要とされるボーリング時間も増大する。大面積構造についてのボーリング時間の総量と個々の微小構造の各々についての最適のボーリング時間との間の比が大きいため、面積が大きく且つ均等な微小構造を発生するための製造上の困難性が大きくなる。

【0007】 誘電体微小構造のボーリングにおける他の挑戦には、高い電界の下で、均等で高い核生成密度を(ボーリングプロセスにおけるシーディング(seed ing)として)発生すること、及び最適の電界の下で均等な微小構造を形成することが含まれる。

【0008】 1999年10月に刊行されたソリッドステートの物理学の第10巻の第1681頁乃至第1687頁に記載された、V. Y. シャー等の「リチウムニオベートの周期的ドメイン構造の形成におけるドメイン動力学」という文献には、電界の分極スイッチングによるLiNbO<sub>3</sub>におけるドメイン構造の展開の実験的研究が記載されている。

【0009】 1997年8月15日に刊行された光学書簡集の第22巻第16号の第1214頁乃至第1216頁に記載された、J. P. メイン等の「周期的分極反転リチウムタンタレートでの第2高調波発生による調節可能な紫外線の放射」という文献には、単バス擬似位相整合第2高調波発生(QPM-SHG)によるリチウムタンタレートでの微細ピッチ強誘電体ドメイングレーティングの電界ボーリング及び非線形光学特性が記載されている。

【0010】1999年9月20日に刊行された応用物理学書簡集の第75巻第12号の第1673頁乃至第1675頁に記載された、R. G. バチコ等の「高忠実度ドメインパターン化及び効率的青色光発生のためのリチウムニオベートのバックスイッチボーリング」という文献には、自発的バックスイッチングを組み込む電界ボーリング技術が記載されている。

【0011】1996年9月9日に刊行された応用物理学書簡集の第69巻の第1565頁乃至第1567頁に記載された、A. クロダ等の「電界を加えることによる強誘電体MgO:LiNbO<sub>3</sub>におけるドメイン」という文献には、ステップ状電界を加えることによる、室温で5mo1%のMgOでドーピングしたLiNbO<sub>3</sub>(MgO:LN)のアンチパラレル強誘電体ドメインの反転が記載されている。

【0012】1999年5月1日に刊行された応用物理学誌の第38巻の第L512頁乃至第L514頁に記載された、M. ナカムラ等(日本国)の「電界を外部から加えることによる、バルク周期分極反転した、MgOをドープされたLiNbO<sub>3</sub>」という文献には、液体電極技術を使用した電界ボーリングプロセスによる、バルク周期分極反転した、MgOをドープされたLiNbO<sub>3</sub>(PPMgLN)結晶の製造が記載されている。

【0013】1996年10月28日に刊行された応用物理学書簡集の第69巻第18号の第2629頁乃至第2631頁に記載された、A. ハラダ等の「コロナ放電法による、バルク周期分極反転MgO-LiNbO<sub>3</sub>」という文献には、バルク周期分極反転MgO-LiNbO<sub>3</sub>基板のコロナ放電法による製造方法が記載されている。

【0014】1997年6月9日に刊行された応用物理学書簡集の第70巻第23号の第3078頁乃至第3080頁に記載された、S. ソノダ等の「電気分極反転された、X-カットのMgOがドープされたLiNbO<sub>3</sub>導波管における第2高調波発生」という文献には、TEモード被案内波動を支持する焼鈍陽子交換(APE)によるX-カットのMgO 5mo1%ドープされたLiNbO<sub>3</sub>(MgO:LN)導波管で、擬似位相整合第2高調波発生が起こることが記載されている。

【0015】バイヤー等に付与された米国特許第6,156,225号には、電界ドメインパターン化が記載されている。

【0016】ヤマダ等に付与された米国特許第5,193,023号には、非線形強誘電体光学基板のドメイン制御方法が記載されている。

【0017】フィールド等に付与された米国特許第5,519,802号には、パターン分極反転構造を持つ装置の製造方法及びパターン分極反転構造装置が記載されている。

【0018】ナット等に付与された米国特許第5,99

1,065号には、周期分極反転ドメイン領域を持つアドレス可能な電気-光学モジュレータが記載されている。

【0019】カールソン等に付与された米国特許第5,986,798号には、光学結晶をボーリングするための方法及び装置が記載されている。

【0020】ウェブジョン等に付与された米国特許第5,875,053号には、周期的電界分極反転結晶導波管が記載されている。

10 【0021】バイヤー等に付与された米国特許第5,838,702号には、ソリッドステート本体の強誘電体分極ドメインの領域を電気的に制御する方法が記載されている。

【0022】ヤマダ等に付与された米国特許第5,786,926号には、反転ドメインが強誘電体基板の内側に形成された電気-光学的装置、及びこれを使用する電気-光学的ユニットが記載されている。

20 【0023】ガブタ等に付与された米国特許第5,756,263号には、制御された電界を加えることによって強誘電体ドメインを反転する方法が記載されている。

【0024】レブリング等に付与された米国特許第5,654,229号には、エビタキシャル強誘電体酸化物フィルムの成長中及び成長後に周期的非線形係数パターンを複製するための方法が記載されている。

【0025】ミズウチ等に付与された米国特許第5,652,674号には、ドメイン反転領域の製造方法、このようなドメイン反転領域を使用した光学波長変換装置、及びこの装置の製造方法が記載されている。

30 【0026】フィールド等に付与された米国特許第5,615,041号には、パターン化分極反転誘電体構造及び装置が記載されている。

【0027】ミズウチ等に付与された米国特許第6,002,515号には、分極反転部分の製造方法、これを使用した光学波長変換エレメント、及び光学導波管が記載されている。

【0028】ニヘイ等に付与された米国特許第5,744,073号には、強誘電体ドメイン反転の製造方法が記載されている。

40 【0029】ニヘイ等に付与された米国特許第5,668,578号には、強誘電体ドメイン反転の製造方法及び光学波長コンバータエレメントが記載されている。

【0030】ハラダ等に付与された米国特許第5,594,746号には、強誘電体分域反転を行うための方法及び装置が記載されている。

【0031】ヤマグチ等に付与された米国特許第5,526,173号には、非線形光学材料の局所的分域制御が記載されている。

50 【0032】ヤマダ等に付与された米国特許第5,249,250号には、ドメイン構造を持つ光学装置及びその製造方法が記載されている。

【0033】ガブタ等に付与された米国特許第5,748,361号には、反転ドメイン構造を持つ強誘電体結晶が記載されている。

【0034】ゴバラン等に付与された米国特許第5,734,772号には、結晶平面内で分極がなされた強誘電体結晶の反転ドメイン構造が記載されている。

【0035】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の一つ又はそれ以上の実施例の目的は、分極反転誘電体微小構造を誘電体材料内にパターン化し製造する改良された方法を提供することである。

【0036】この他の記載は下文から明らかになるであろう。

【0037】

【課題を解決するための手段】本発明の以上の及び他の目的は、以下の方法で達成できるということがわかった。詳細には、分極反転誘電体微小構造を誘電体材料内に形成する。次いで、分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする。次いで、分極反転誘電体微小構造を複数の独立したサブ構造の各々内に製造する。更に、このパターン化および製造方法を改良し、実施するための追加のプロセス及び新規なボーリングセットアップを開示する。

【0038】本発明は、同じ参照番号が同様の又は対応するエレメント、領域、及び部分を示す添付図面と関連して以下の説明を読むことにより更に明瞭に理解されるであろう。

【0039】

【発明の実施の形態】定義によって、強誘電体材料は自発分極性を備えている。即ち、強誘電体材料は内部磁気双極子モーメントを有する。強誘電体内の所望のドメイン形体（ドメイン又はドメインパターン）は、これらの内部磁気双極子モーメントを方向を制御することによって形成できる。ドメインパターンを形成するための多くの優れた方法の一つは、電界を材料に加え、所望の領域の自発分極の方向を変化させることである。これを電界ボーリングといふ。

【0040】本発明は、分極反転誘電体微小構造の新規なパターン化及び製造方法を開示する。この方法では、パターンを幾つかの最適の構造にセグメント分けすることによって、誘電体材料本体内の所望の微小構造を形成できる。これにより、分極反転誘電体微小構造を独立した各区分に形成でき、及びかくして製造を最適化する。高品質で歩留りのよい大規模化できる分極反転誘電体微小構造をこの方法でパターン化でき且つ製造できる。更に、このパターン化-製造方法を改良し実施するための追加のプロセス及びボーリングセットアップを開示する。

【0041】分極反転誘電体微小構造又はドメインについて、一般的なパターン化-製造方法を本発明の好まし

い実施例として開示する。パターンを幾つかの最適の独立した区分にセグメント分けすることによって、誘電体材料の本体内の所望の微小構造／ドメインを製造する。セグメント分けにより、独立した各区分に分極反転ドメインを製造でき、及びかくして製造が最適化される。本発明における分極反転誘電体微小構造／ドメインのパターン化及び製造を強誘電体材料内のドメイン反転によって例示する。しかしながら、ここに説明するパターン化-製造方法は、ガラス材料又はポリマー材料等の他の非強誘電性誘電体材料にも適用できる。

【0042】パターン化を行うため、提供された誘電体材料を複数の独立したサブ構造にセグメント分けする。次いで、複数の独立したサブ構造の各々内に分極反転誘電体微小構造を製造する。提案されたボーリングプロセスを最適に実施するため、ボーリングステーションをセットアップする。

【0043】図1のaは、従来技術の8cmのパターン化した誘電体材料10を示す。この材料は、例えば4μmの周期を有する。各々が幅14を持つ電極12（導線15を介して電源17に接続されている）及び擬似位相整合（QPM）周期16に電界をかけ、電界を使用することにより個々の電極と近接した個々のドメイン18を誘導する。

【0044】ボーリングプロセス中、望ましからぬ電界-電気双極子干渉が誘電体材料10の本体内に発生し、電極12の近くにドメイン18を形成する。特に挑戦的短周期ボーリング（例えば4μmの周期）又は非振動的周期ボーリング中に製造上の困難を生じる。

【0045】図1のbは、本発明の好ましい実施例を示す。例えば、大規模な4cmパターン化誘電体材料20（図1のaのパターン化した誘電体材料と同様である）を二組の電極22、24に分解する。夫々のドメイン26、28（夫々の電極22、24に電界をかけることによって形成される）の各々は8μmのボーリング周期を有する。

【0046】電極22、24の夫々の組の各々を電源30、32に夫々の導線23、25をして接続する。かくして、ボーリングプロセスは、長周期ボーリング（8μm）についてだけ行われ、これにより、ボーリングプロセス中の誘電体材料の本体20内の電界-電気双極子干渉を緩和する。

【0047】【小面積ボーリングパターン図2のb及びc】図2のaは、電源42に導線44を介して接続された電極40を持つ大規模パターン化誘電体材料についての従来技術の電極スキームを示す。

【0048】図2のb及びcに示すように、本発明の好ましい実施例を更に改良するため、大規模パターン化誘電体材料の電極スキームを、小面積ボーリングパターンを持つ幾つかのサブセットに更に分割する。これにより、大面積構造（図2のa参照）についてのボーリング

時間の総量と図2のb及びcに示す個々の微小構造の各々についての最適化されたボーリング時間との間の比が大きいことによる大規模化に伴う問題点を緩和する。これにより、様々な区分内の均等なドメイン形成の相関を良好にする必要性を小さくする。

【0049】図2のbは、大規模パターン化誘電体材料についての図2のaの従来技術の電極スキームを、ボーリングパターンの面積が小さい三つのサブセット58、68、78に細分した電極スキームを示す。夫々のサブセット58、68、78の各々は、夫々の電源52、62、72に夫々の導線54、64、74を介して接続された夫々の電極50、60、70を含む。夫々のドメイン56、66、76は、電界を夫々の電極50、60、70に加えることによって個々の電極50、60、70と近接して誘導される。

【0050】図2のcは、大規模パターン化誘電体材料120についての図2のaの従来技術の電極スキームを、ボーリングパターンの面積が小さい四つのサブセット88、98、108、118に細分した電極スキームを示す。夫々のサブセット88、98、108、118の各々は、夫々の電源82、92、102、112に夫々の導線84、94、104、114を介して接続された夫々の電極80、90、100、110を含む。電界ボーリングの後、夫々のドメイン81、91、101、111を夫々の電極80、90、100、110と近接して誘電体材料120に誘導する。

【0051】〔核生成構造-図3のb及びc〕図3のaは、図2のaに示すのと同様の大規模パターン化誘電体材料についての従来技術の電極スキームを概略に示し、電極121が電源122に導線124を介して接続されている。電界を電極121に加えることによって個々のドメイン123を誘導する。

【0052】図3のb及びcに示すように、長い周期(図1のb参照)及び/又は小さいボーリング面積(図2のb及びc参照)を持つ小さなサブセットの各々の均等性を更に高めるため、電界の強さを局所的に高め、かくして核生成である初期ボーリングの形成を高める。

【0053】図3のbは、大規模パターン化誘電体材料についての図3のaの従来技術の電極スキームを、小面積ボーリングパターンを持つ二つのサブセット138、148に細分した電極スキームを示す。夫々のサブセット138、148の各々は、夫々の電源132、142に夫々の導線134、144を介して接続された夫々のパターン化電極130、140を含む。パターン化電極130、140の各々は、核生成された電極設計131、141を夫々有し、これにより電界の局所的強さを高め、及びかくして初期ボーリングの形成を高める。夫々の核生成によるドメイン133、143は、電界を夫々の電極131、141にかけることによって個々の核生成された電極設計電極131、141と近接して誘導

される。

【0054】図3のcは、大規模パターン化誘電体材料200についての図3のaの従来技術の電極スキームを、ボーリングパターンの面積が小さい四つのサブセット158、168、178、188に細分した電極スキームを示す。夫々のサブセット158、168、178、188の各々は、夫々の電源152、162、172、182に夫々の導線154、164、174、184を介して接続された夫々の電極150、160、170、180を含む。これらの電極は、電界の強さを局所的に高め、及びかくして初期ボーリングの形成を高める。夫々の核生成によるドメイン156、166、176、186は、夫々の核生成電極151、161、171、181を夫々有する。これらの核生成電極は、電界の強さを局所的に高め、及びかくして初期ボーリングの形成を高める。夫々の核生成によるドメイン156、166、176、186は、夫々の核生成電極151、161、171、181を電界を加えることによって、個々の核生成電極150、160、170、180と近接して誘導される。

【0055】〔誘電体材料の両側で電極パターン化を同時に行うための本発明の適用-図4のb乃至e〕図4のb、c、及び図4のd、eに示すように、上述の好ましい実施例のパターン化-製造方法及び図2のb及びcに示すサブセット分割改良、及び図3のb及びcに示す核生成改良は、ボーリング品質を更に向上するために誘電体材料の両側で電極のパターン化を同時に行うのにも適用できる。

【0056】図4のaは、誘電体材料300内の分極反転誘電体微小構造の従来技術のパターン化及び製造を示す。これは、電界-電気双極子干渉310が強いため、パターン化した誘電体材料300の両側の品質を不均等にし、非対称にする。実線の矢印301は電界分布を表し、これに対し破線の矢印302は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0057】図4のb及びcは、パターン化誘電体材料400に本発明の方法を使用することにより、電界干渉を減少し、均等性を改善することを示す。微小構造をパターンセグメント化に従って順次(図4のb及びcに示すように)製造する。実線矢印401は電界分布を表し、破線矢印402は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0058】図4のd及びeは、誘電体材料410の両側の電極にパターン化を同時に施すことによってパターン化誘電体材料410に行われる本発明の図4のb及びcの別の改良方法を示す。これにより干渉を非常に小さくし、パターン化誘電体材料410の両側に均等な品質を形成する。微小構造は、パターンセグメント化に従って順次(図4のd及びeに示すように)製造される。実線矢印411は電界分布を表し、破線矢印412は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0059】〔図5のb乃至eの誘電体内の拘束層を実

施することによる本発明の更なる改良】上述の好ましい実施例のパターン化-製造方法及び図2のb及びcに示すサブセット分割改良、図3のb及びcに示す核生成改良、及び図4のd及びeに示す対称性改良は、更に、誘電体材料内に拘束層を実施することによって改良できる。拘束層の機能は、材料特性を変更し、及びかくして拘束領域内の極の形成を抑えることである。誘電体材料内の拘束層の例は、誘電体材料にイオン交換又はイオン拡散を行うことによって形成できる。イオン交換プロセスが材料特性を変化でき、及びかくして極の形成を抑えるということは周知である。かくして、イオン交換によるパターン化を誘電体材料内で行うことによって、分極反転誘電体微小構造を改良できる。これは、微小構造設計によるドメイン形成を抑える。

【0060】図5のaは、イオン交換誘電体材料500における分極反転誘電体微小構造の従来技術の製造を示す。実線矢印501は電界分布を表し、破線矢印502は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0061】図5のb及びcは、誘電体材料510内に分極反転誘電体微小構造をイオン交換パターンでドメイン成長拘束層として形成する本発明の改良方法を示す。実線矢印511は電界分布を表し、破線矢印512は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0062】図5のd及びeは、拘束層を持つ誘電体材料の両側に電極を同時にパターン化することによって誘電体材料520内に分極反転誘電体微小構造を形成する本発明の別の改良方法を示す。実線矢印521は電界分布を表し、破線矢印522は強誘電体ドメインの双極子を表す。

【0063】一例として、誘電体材料510、520内のこのような拘束層は、誘電体材料510、520に対してイオン交換又はイオン拡散を行うことにより形成できる。

【0064】本発明の上文中に説明したパターン化-形成方法は、X-カット、Y-カット、又はZ-カットである別の結晶配向にも適用できる。

【0065】本発明の上文中に説明したパターン化-製造方法は、様々な誘電体材料にも適用できる。強誘電体材料の例には、リチウムニオベート(LiNbO<sub>3</sub>)、リチウムタンタレート(LiTaO<sub>3</sub>)、KTiOPO<sub>4</sub>、(KTP)、KNbO<sub>3</sub>、(KDP)、BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、(BBO)、及びMgO:LiNbO<sub>3</sub>、ZnO:LiNbO<sub>3</sub>等のそれらの系統、及びボーリング前にプリーアイオン(prer-ion) (陽子又はTi) 拡散した材料が含まれる。LiTaO<sub>3</sub>及びそれらの系統もまた、様々なフォーマットの結晶を含む。更に好ましい強磁性材料には、LiNbO<sub>3</sub>及びLiTaO<sub>3</sub>、及び一致溶融のLiNbO<sub>3</sub>、(CLN) 及び化学量論的LiNbO<sub>3</sub>、(SLN) 等のそれらの系統；及び、MgO:CLN、ZnO:CLN、MgO:SLN、ZnO:SLN等の、ド

ーピングした上掲の結晶が含まれる。

【0066】他の誘電体材料には、SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、SiO<sub>3</sub>、石英ガラス又は珪酸塩ファイバ等のガラス材料；及び分散Re d、側鎖ポリマー等のポリマー材料が含まれる。

【0067】【ボーリングセットアップ】図6は、誘電体材料712を電界ボーリングするために本発明の実施に従って使用できる従来技術の液体接触電極702ボーリングセットアップ700を示す概略図である。図6の従来のボーリングセットアップは、電流計706、電圧計708、及び抵抗器710を含む回路で高圧電源704に接続された液体接触電極702を使用する。

【0068】【新規なボーリングセットアップ600】図7は、誘電体ウェーハ612を本発明の実施に従って電気的にボーリングするための新規なボーリングセットアップ600を概略的に示す。このセットアップは、各区分を独立してボーリングできる。ボーリングセットアップ600は、ウェーハベース614によって支持され且つ導線616を介して電源618に接続された電極を有する誘電体材料ウェーハ612を真空チャンバ620内に含む。真空ポンプ630を使用してチャンバ620内に真空を発生し、乾燥窒素を乾燥窒素源632からチャンバ620内に導入できる。

【0069】電源618は、スイッチングボックス622を通して高圧電源設備624に接続されている。コンピュータ626が電界ボーリングプロセスを本発明の方法に従って制御し、位置制御装置628を使用してウェーハ612の位置を制御する。

【0070】好ましくは、スイッチングボックス622/コンピュータ626による外部スイッチング制御装置で予め配線した導線616を通して電圧を順次加えることができ、更に好ましくは移動するステージを通して個々のサブ区分接触点の各々に加えることができる。

【0071】図7の新規なボーリングセットアップ600は、更に、ウェーハ612の温度変化によって導電性及び抗電界等の材料特性を変化させることができるということが周知であるため、誘電体材料のウェーハ612の結晶特性を調節するためにウェーハ612を加熱するためのエレメント634を備えていてもよい。

【0072】【新規なボーリングセットアップ600での本発明の方法の使用例】誘電体材料を製造するためのパターン化した電極を幾つかの電極サブセットに分解する。各サブセットは、完成した分極反転誘電体微小構造と比較すると、比較的長いボーリング周期及び比較的小さいボーリング面積を有する。

【0073】本明細書中に説明した核生成電極設計、両側電極パターン化、及び誘電体材料における追加のイオン交換等の改良方法は、パターン化プロセス及び製造プロセスに組み込むことができる。

【0074】電極の夫々のセットの各々は、夫々の電源

にサブ区分接触点を介して接続されている。各区分のボーリングは、各導電性サブ区分接触点を高電圧設備に接続することによって行われる。好ましくは、スイッチングボックス622／コンピュータ626による外部スイッチング制御により、予め配線した導線616を通してサブ区分接触点に電圧を順次加えることができ、又は更に好ましくは移動ステージにより各個々のサブ区分接触点に加えることができる。

【0075】図8は、図7の新規なボーリングセットアップによる本発明の実施例を示す。ボーリング950用の電界は、個々の区分900、910、920、930の各々に順次加えられる。隣接した区分、例えば900、910；920、930には、誘電体材料960内の正味電界分布を変化させるスクリーニング電界として役立つ追加の（任意の）電界940を加えることができる。

【0076】〔本発明に従ってパターン化され且つ製造された分極反転誘電体微小構造／分域の用途〕本発明に従ってパターン化され且つ製造された分極反転誘電体微小構造／分域の用途には、以下の用途が含まれる。

【0077】1) 非線形周波数変換についての擬似位相整合 (QPM)、及び、紫外線、可視光、赤外線、Q-スイッチパルス及び超短パルスの発生、  
 2) 第2高調波発生 (SHG)、和周波発生 (SF G)、差周波発生 (DFG)、光バラメトリック発振 (OPO)、光バラメトリック増幅 (OPA)、光バラメトリック発生 (OPG)、およびカスケード型周波数変換等によって変換プロセスを行なうことができ、  
 3) 適用分野には、レーザーディスプレー、レーザースキャナ、レーザープリンティング、レーザー分光器用の光源、感知及び検出器の用途、及び生物学及び医学の用途が含まれ、  
 4) 光ファイバ通信及び光信号演算処理用の光周波ミキサー、  
 5) ビームスキャナ用電気光学 (EO) - 光モジュレータ、センサ、及び高速モジュレータ、及び  
 6) 音響光学 (AO) モジュレータ及びグレーティング補助装置。

【0078】本発明の特定の実施例を例示し且つ説明したが、特許請求の範囲による定義を除き、本発明を限定しようとするものではない。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】aは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための従来技術を概略に示す図であり、bは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための本発明の好ましい実施例の概略平面図である。

【図2】aは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための従来技術を概略に示す図であり、b及びcは、本発明の好ましい実施例に対する改良の概略平面図である。

【図3】aは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための従来技術を概略に示す図であり、b及びcは、本発明の好ましい実施例に対する別の改良の概略平面図である。

【図4】aは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための従来技術を概略に示す図であり、b及びcは、誘電体材料の両側の電極を同時にパターン化するための本発明の概略側面図であり、d及びeは、b及びcの誘電体材料の両側の電極を同時にパターン化するための本発明の側面図に対する改良を示す側面図である。

【図5】aは、分極反転誘電体微小構造のパターン化及び製造を行うための従来技術を概略に示す図であり、b及びcは、誘電体材料を閉じ込めるによる本発明の好ましい実施例の改良を示す概略図である。d及びeは、両側電極パターン化による、及び誘電体材料内に拘束層を形成することによる、本発明の好ましい実施例に対する更なる改良の概略図である。

【図6】本発明の好ましい実施例を行うことができる従来の液体接触電極セットアップの概略図である。

【図7】本発明の好ましい実施例のボーリングを行うことができる新規なセットアップの概略図である。

【図8】図7の新規なセットアップによる本発明の実施を示す概略図である。

## 【符号の説明】

- 20 パターン化誘電体材料
- 22、24 電極
- 23、25 導線
- 26、28 ドメイン
- 30、32 電源
- 400 パターン化誘電体材料

【図1】

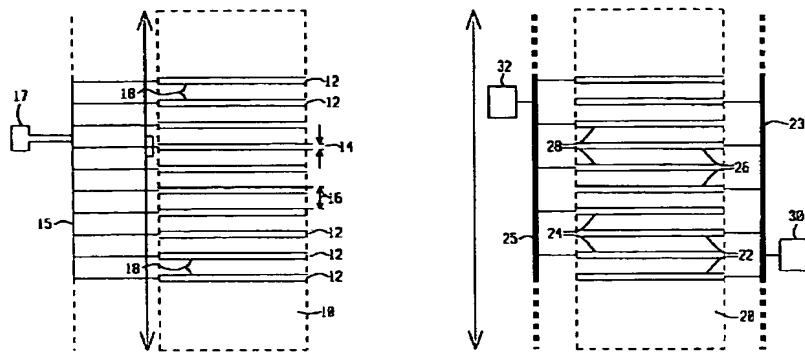


FIG. 1a -

従来技術

FIG. 1b

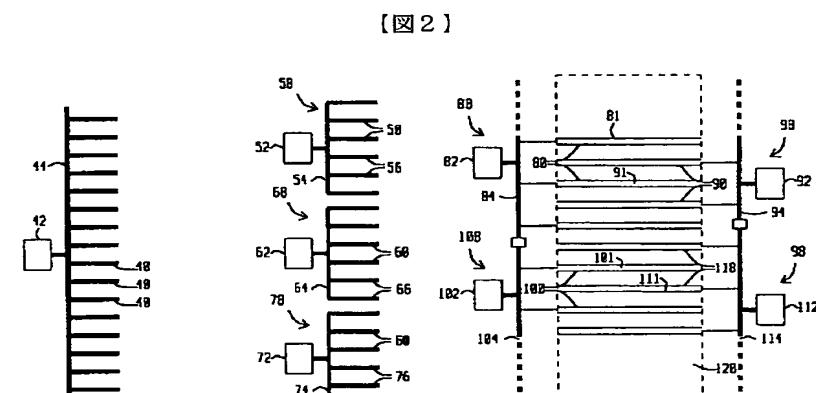
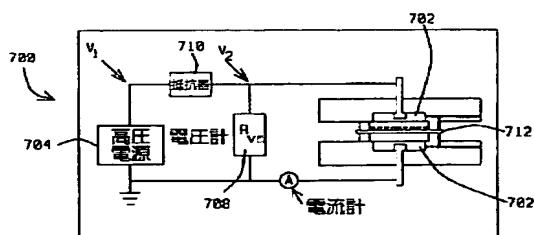


FIG. 2a - FIG. 2b

従来技術

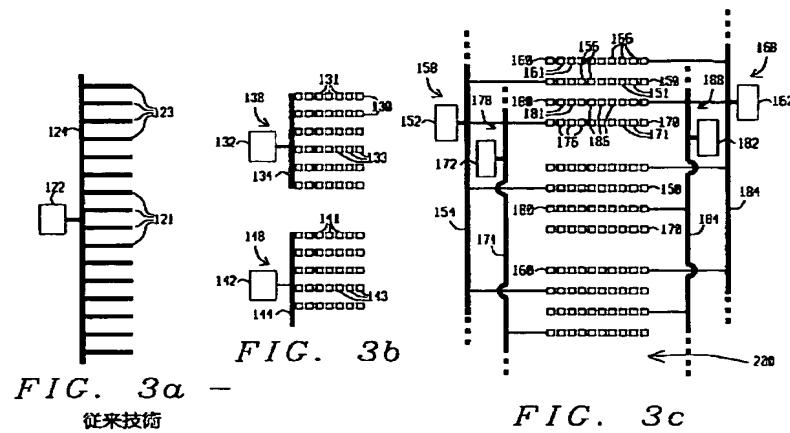
FIG. 2c

【図6】

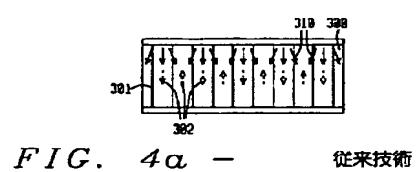


従来技術

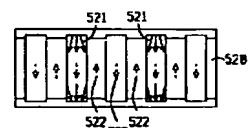
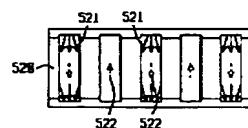
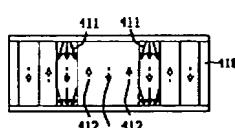
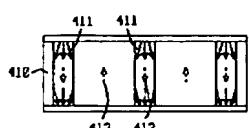
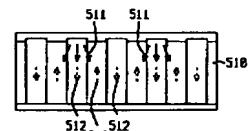
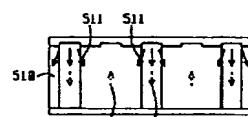
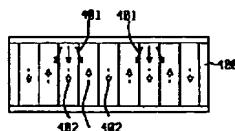
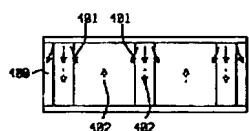
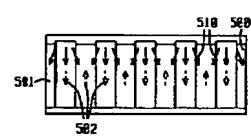
【図3】



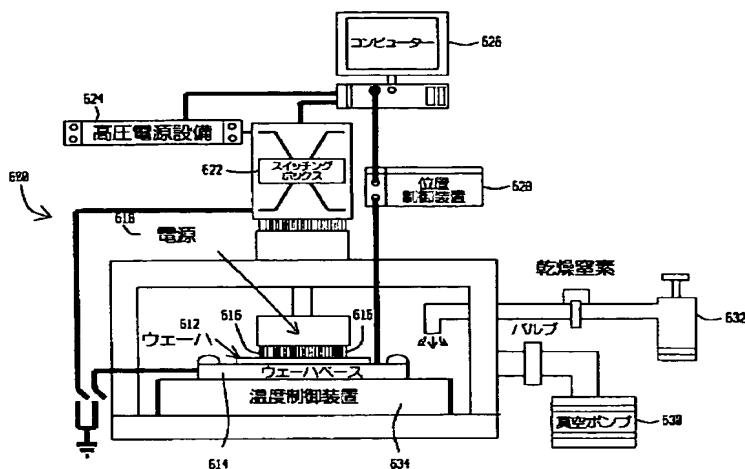
【図4】



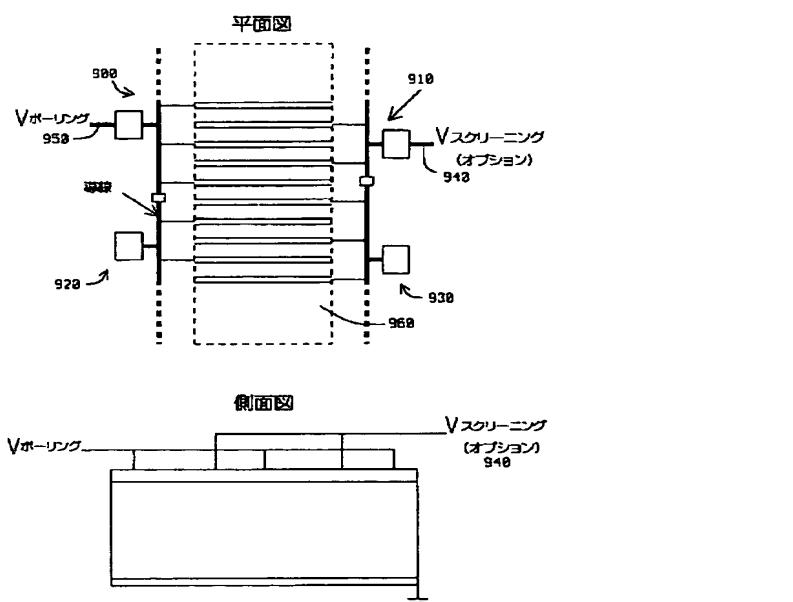
【図5】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ツアン・ユアン・シャン  
台湾 タイペイ, バンチャン・シティ, ウ  
ェンファ・ロード, セク 1, レイン  
249, 1 エフ, ナンバー4

(72)発明者 ピン・ハオ・シェア  
台湾 701, イエン-ホ・ロード, レイン  
111, ナンバー138

(72)発明者 イエンーフアン・チェン  
台湾 300, シンーチュー, ナショナル・  
シンーフア・ユニバーシティ, イノヴェイ  
ション・インキュベイター・センター, ア  
ール108

(72)発明者 ミンーシェン・チョウ  
アメリカ合衆国ニュージャージー州07733,  
ホルムデル, クリムゾン・キング・ドライ  
ブ 6  
F ターム(参考) 2K002 AB12 CA03 CA04 FA24 FA28  
HA20

【外国語明細書】

1 Title of Invention

METHOD OF PATTERNING AND FABRICATING POLED DIELECTRIC MICROSTRUCTURES WITHIN DIELECTRIC MATERIALS

2 Claims

1. A method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures in a dielectric material, comprising the steps of:

providing a unitary poled dielectric microstructure within a dielectric material;

segmenting the unitary poled dielectric microstructure into a plurality of independent sub-structures; and

fabricating the poled dielectric microstructures within each of the plurality of independent sub-structures.

2. The method of claim 1, wherein the dielectric material is comprised of a material selected from the group consisting of ferroelectric materials, glass materials and polymer materials.

3. The method of claim 1, wherein the dielectric material - is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, KTiOPO<sub>4</sub>, KNbO<sub>3</sub>, BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and their family such as MgO:LiNbO<sub>3</sub> and ZnO:LiNbO<sub>3</sub>; glass materials such as SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>:SiO<sub>2</sub>, fused silica or silicate fiber; and polymer materials such as Dispersion Red 1 Side Chain polymer.

2

4. The method of claim 1, wherein the dielectric material - is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as LiNbO<sub>3</sub> and LiTaO<sub>3</sub> and their family such as congruent LiNbO<sub>3</sub> (CLN) and stoichiometric LiNbO<sub>3</sub> (SLN); and the above crystals with doping such as MgO:CLN, ZnO:CLN, MgO:SLN, ZnO:SLN.

5. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure.

6. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure .

7. The method of claim 1, wherein the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

8. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure

9. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

10. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.
11. The method of claim 1, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.
12. The method of claim 1, wherein the poled dielectric microstructures are formed on both sides of the dielectric material.
13. The method of claim 1, wherein the dielectric material -has a crystal orientation selected from the group consisting of X-cut, Y-cut and Z-cut.
14. The method of claim 1, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated using liquid contact electrodes.
15. The method of claim 1, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by sequentially applying voltage through pre-wired conductive lines.

## 4

16. The method of claim 1, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by applying voltage through moving stages to contact points for each independent sub-structure.

17. The method of claim 1, wherein the dielectric material has crystal properties that are adjusted through temperature variations of the dielectric material during fabrication of the poled dielectric microstructures.

18. The method of claim 1, wherein the fabricated poled dielectric microstructures may be utilized in a manner selected from the group consisting of:

- 1) quasi-phase matching (QPM) for nonlinear frequency conversion and generation of UV, visible light, infrared (IR), Q-switched and ultrashort pulses;
- 2) conversion processes through second harmonic generation (SHG), sum frequency generation (SFG), difference frequency generation (DFG), optical parametric oscillation (OPO), optical parametric amplification (OPA), optical parametric generation (OPG), cascaded frequency conversion;
- 3) a light source for laser displays, laser scanners, laser printing, laser spectrometers, sensing and detection applications and biology and medical applications;
- 4) optical frequency mixers for optical fiber communication and optical signal processing;
- 5) electro-optic (EO) modulators for beam scanners, sensors and high-speed modulators; and

## 6) acoustic-optical (AO) modulators and grating assisted devices.

19. A method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures in dielectric materials, comprising the steps of:

providing a unitary poled dielectric microstructure within a dielectric material; wherein the dielectric material - is comprised of a material selected from the group consisting of ferroelectric materials, glass materials and polymer materials;

segmenting the unitary poled dielectric microstructure into a plurality of independent sub-structures; and

fabricating the poled dielectric microstructures within each of the plurality of independent sub-structures.

20. The method of claim 19, wherein the dielectric material structure is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{KTiOPO}_4$ ,  $\text{KNbO}_3$ ,  $\text{BaB}_2\text{O}_4$  and their family such as  $\text{MgO:LiNbO}_3$ , and  $\text{ZnO:LiNbO}_3$ ; glass materials such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2\text{SiO}_2$ , fused silica and silicate fiber; and polymer materials such as Dispersion Red 1 Side Chain polymer.

21. The method of claim 19, wherein the dielectric material is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as  $\text{LiNbO}_3$  and  $\text{LiTaO}_3$  and their family such as congruent  $\text{LiNbO}_3$  (CLN) and stoichiometric  $\text{LiNbO}_3$  (SLN); and the above crystals with doping such as  $\text{MgO:CLN}$ ,  $\text{ZnO:CLN}$ ,  $\text{MgO:SLN}$ ,  $\text{ZnO:SLN}$ .

22. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure.

23. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure.

24. The method of claim 19, wherein the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

25. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure.

26. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

27. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure, and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

28. The method of claim 19, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure, and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

29. The method of claim 19, wherein the poled dielectric microstructures are formed on both sides of the dielectric material -.

30. The method of claim 19, wherein the dielectric material has a crystal orientation selected from the group consisting of X-cut, Y-cut and Z-cut.

31. The method of claim 19, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated using liquid contact electrodes.

32. The method of claim 19, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by sequentially applying voltage through pre-wired conductive lines.

33. The method of claim 19, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by applying voltage through moving stages to contact points for each independent sub-structure.

34. The method of claim 19, wherein the dielectric material - has crystal properties that are adjusted through temperature variations of the dielectric material - during fabrication of the poled dielectric microstructures.

35. The method of claim 19, wherein the fabricated poled dielectric microstructures may be utilized in a manner selected from the group consisting of:

- 1) quasi-phase matching (QPM) for nonlinear frequency conversion and generation of UV, visible light, infrared (IR), Q-switched and ultrashort pulses;
- 2) conversion processes through second harmonic generation (SHG), sum frequency generation (SFG), difference frequency generation (DFG), optical parametric oscillation (OPO), optical parametric amplification (OPA), optical parametric generation (OPG), cascaded frequency conversion;
- 3) a light source for laser displays, laser scanners, laser printing, laser spectrometers, sensing and detection applications and biology and medical applications;
- 4) optical frequency mixers for optical fiber communication and optical signal processing;
- 5) electro-optic (EO) modulators for beam scanners, sensors and high-speed modulators; and
- 6) acoustic-optical (AO) modulators and grating assisted devices.

36. A method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures in dielectric materials, comprising the steps of:

providing a unitary poled dielectric microstructure within a dielectric material; the dielectric material -having a crystal orientation selected from the group consisting of X-cut, Y-cut and Z-cut; and the dielectric material being comprised of a material selected from the group consisting of ferroelectric materials, glass materials and polymer materials;

segmenting the unitary poled dielectric microstructure into a plurality of independent sub-structures; and

fabricating the poled dielectric microstructures within each of the plurality of independent sub-structures.

37. The method of claim 36, wherein the dielectric material is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{KTiOPO}_4$ ,  $\text{KNbO}_3$ ,  $\text{BaB}_2\text{O}_4$  and their family such as  $\text{MgO:LiNbO}_3$  and  $\text{ZnO:LiNbO}_3$ ; glass materials such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2\text{SiO}_2$ , fused silica and silicate fiber; and polymer materials such as Dispersion Red 1 Side Chain polymer.

38. The method of claim 36, wherein the dielectric material is comprised of a material selected from the group consisting of: ferroelectric materials such as  $\text{LiNbO}_3$  and  $\text{LiTaO}_3$  and their family such as congruent  $\text{LiNbO}_3$  (CLN) and stoichiometric  $\text{LiNbO}_3$  (SLN); and the above crystals with doping such as  $\text{MgO:CLN}$ ,  $\text{ZnO:CLN}$ ,  $\text{MgO:SLN}$ ,  $\text{ZnO:SLN}$ .

10

39. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure.

40. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure.

41. The method of claim 36, wherein the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

42. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure.

43. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods and smaller-area poling patterns than the dielectric material structure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

44. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have larger periods than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

//

45. The method of claim 36, wherein the plurality of independent sub-structures have smaller-area poling patterns than the unitary poled dielectric microstructure and the patterned and fabricated poled dielectric microstructures are enhanced nucleated.

46. The method of claim 36, wherein the poled dielectric microstructures are formed on both sides of the dielectric material. -.

47. The method of claim 36, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated using liquid contact electrodes.

48. The method of claim 36, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by sequentially applying voltage through pre-wired conductive lines.

49. The method of claim 36, wherein the poled dielectric microstructures may be fabricated by applying voltage through moving stages to contact points for each independent sub-structure.

50. The method of claim 36, wherein the dielectric material -has crystal properties that are adjusted through temperature variations of the dielectric material -during fabrication of the poled dielectric microstructures.

/2

51. The method of claim 36, wherein the fabricated poled dielectric microstructures may be utilized in a manner selected from the group consisting of:

- 1) quasi-phase matching (QPM) for nonlinear frequency conversion and generation of UV, visible light, infrared (IR), Q-switched and ultrashort pulses;
- 2) conversion processes through second harmonic generation (SHG), sum frequency generation (SFG), difference frequency generation (DFG), optical parametric oscillation (OPO), optical parametric amplification (OPA), optical parametric generation (OPG), cascaded frequency conversion;
- 3) a light source for laser displays, laser scanners, laser printing, laser spectrometers, sensing and detection applications and biology and medical applications;
- 4) optical frequency mixers for optical fiber communication and optical signal processing;
- 5) electro-optic (EO) optic modulators for beam scanners, sensors and high-speed modulators; and
- 6) acoustic-optical (AO) modulators and grating assisted devices.

52. The method of claim 36, including an ion-exchanged pattern as a domain growth confinement layer.

53. The method of claim 1, including an ion-exchanged pattern as a domain growth confinement layer.

13

54. The method of claim 19, including an ion-exchanged pattern as a domain growth confinement layer.

55. A poling setup to electrically pole a dielectric material wafer, comprising:

the dielectric material wafer disposed within a vacuum chamber on a wafer base;

the wafer base being connected to a position controller for controlling the position of the wafer base;

patterned electrodes disposed proximate the dielectric material wafer; the patterned electrodes being divided into two or more electrode subsets;

a voltage and current supply connected to the patterned electrodes by conductive lines;

a high voltage facility connected to the voltage and current supply by a switching box; and

a central processing unit (CPU) electrically connected to, and controlling, the high voltage facility, the switching box and the position controller.

56. The poling setup of claim 55, further including a vacuum pump connected to the vacuum chamber.

57. The poling setup of claim 55, further including a source of dry nitrogen connected to the vacuum chamber.

14

58. The poling setup of claim 55, further including a vacuum pump connected to the vacuum chamber, and a source of dry nitrogen connected to the vacuum chamber.

59. The poling setup of claim 55, further including a wafer heating element connected to the wafer base.

15

### 3 Detailed Description of Invention

#### FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to the engineering of dielectric materials and more specifically to methods of patterning and fabricating poled dielectric microstructures within dielectric materials.

16

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

Patterning and fabrication of microstructures within dielectric materials enable a new dimension in material engineering and thus opens up new opportunities for the use of dielectric materials in a variety of applications. The ability to design and process semiconductor materials for integrated circuits (IC) and semiconductor lasers is analogous to such a new dimension and opportunities now presented to dielectric materials.

The feasibility to perform microstructure engineering within dielectric materials has been shown in, for example, domain reversals of ferroelectric materials such as periodically poled lithium niobate (PPLN), periodically poled lithium tantalate (PPLT) and periodically poled  $\text{KTiOPO}_4$  (PPKTP). Progress has also been shown in other materials such as poling in glass materials or poling in polymer materials.

Example applications of poled dielectric microstructures are quasi-phase-matched (QPM) nonlinear frequency conversion in dielectric materials with second order nonlinear susceptibilities. For example: (1) UV and visible light can be generated via second harmonic generation (SHG) or sum frequency generation (SFG); (2) infrared can be generated via difference frequency generation (DFG), optical parametric oscillation (OPO), optical parametric amplification (OPA) and optical parametric generation (OPG); and (3) optical frequency mixers (OFM) can

17

be used for telecommunication and optical signal processing. Further examples include electro-optic (EO) modulators for beam scanners, sensors, high-speed modulators, etc.

One of the major factors for the realization of the above example applications depends upon the ability to patterning and fabrication of the desired microstructures within the proper materials. The prior art provides a basic patterning and fabrication approach such as ferroelectric domain reversals via electric field poling or thermal poling. However, as the desired patterned structures require finer microstructures such as shorter ferroelectric domain period or pattern structures with aperiodic periods, the challenge in achieving the desired pattern structures arises. Moreover, those methods can't necessarily be used or optimized for the fabrication of several other proper materials. In addition, those methods also might encounter the scalability and yield issues in the fabrication of large area patterned microstructures.

One of the key challenges in the poling of dielectric microstructures is the electric field and electric dipole interference within the body of dielectric materials during the electric field poling process. Such electric field and electric dipole interference results in non-uniform domain structures and difficulties in generating domain with short pitch (period). Additional challenges in poling of dielectric microstructures come from the scalability of the poling area. As the poling area increases, the total required poling time will also increase. The large ratio

between the total amount of poling time for large area structures and the optimized poling time for each individual microstructure enhances the fabrication difficulty for generating large area and uniform microstructures.

Other challenges in the poling of dielectric microstructures include the generation of uniform high nucleation density (as seeding in the poling process) under high electric fields and the formation of uniform microstructures under optimized electric fields.

The article "Domain kinetics in the formation of a periodic domain structure in lithium niobate," V. Y. Shur et al., Physics of the Solid State, Vol. 41, No. 10, pages 1681 - 1687, October 1999, describes the experimental investigation of the evolution of the domain structure in LiNbO<sub>3</sub> with polarization switching in an electric field.

The article "Tunable ultraviolet radiation by second-harmonic generation in periodically poled lithium tantalate," J. P. Meyn et al., Optics Letters, Vol. 22, No. 16, pages 1214 - 1216, August 15, 1997, describes electric-field poling of fine-pitch ferroelectric domain gratings in lithium tantalate and characterization of nonlinear-optical properties by single-pass quasi-phase-matched second-harmonic generation (QPM SHG).

19

The article "Backswitch poling in lithium niobate for high-fidelity domain patterning and efficient blue light generation," R. G. Batchko et al., *Applied Physics Letters*, Vol. 75, No. 12, pages 1673 - 1675, 20 September 1999, describes an electric-field poling technique which incorporates spontaneous backswitching.

The article "Domain in ferroelectric MgO:LiNbO<sub>3</sub> by applying electric fields," A. Kuroda et al., *Appl. Physics Lett.*, 69, pages 1565 - 1567, 9 September 1996, describes inversion of an antiparallel ferroelectric domain in LiNbO<sub>3</sub> doped with 5 mol % MgO (MgO:LN) at room temperature by application of a step-like electric field.

The article "Bulk Periodically Poled MgO-doped LiNbO<sub>3</sub> by External Electric Field Application," M. Nakamura et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, pages L512 - L514, 1 May 1999, describes fabrication of bulk periodically poled MgO-doped LiNbO<sub>3</sub> (PPMgLN) crystals by an electric field poling process using a liquid electrode technique.

The article "Bulk periodically poled MgO-LiNbO<sub>3</sub> by corona discharge method," A. Harada et al., *Appl. Phys. Lett.*, 69 (18), pages 2629 - 2631, 28 October 1996, describes a corona discharge method of the fabrication of bulk periodically poled MgO-LiNbO<sub>3</sub> substrates.

20

The article "Second harmonic generation in electric poled X-cut MgO-doped LiNbO<sub>3</sub> waveguides," S. Sonoda et al., Appl. Phys. Lett., 70 (23), pages 3078 - 3080, 9 June 1997, demonstrates that quasi-phase-matched second harmonic generation occurs in annealed proton-exchanged (APE) X-cut MgO 5 mol% doped LiNbO<sub>3</sub> (MgO:LN) waveguides supporting a TE-mode guided wave.

U.S. Patent No. 6,156,255 to Byer et al. describes electric field domain patterning.

U.S. Patent No. 5,193,023 to Yamada et al. describes a method of controlling the domain of a nonlinear ferroelectric optics substrate.

U.S. Patent No. 5,519,802 to Field et al. describes a method for making devices having a pattern poled structure and pattern poled structure devices.

U.S. Patent No. 5,991,065 to Nutt et al. describes an addressable electro-optical modulator with periodically poled domain regions.

U.S. Patent No. 5,986,798 to Karlsson et al. describes a method and arrangement for poling of optical crystals.

U.S. Patent No. 5,875,053 to Webjorn et al. describes periodic electric field poled crystal waveguides.

2-7

U.S. Patent No. 5,838,702 to Byer et al. describes a method of electrically controlling regions of ferroelectric polarization domains in solid state bodies.

U.S. Patent No. 5,786,926 to Yamada describes an electro-optical device having inverted domains formed inside a ferroelectric substrate and electro-optical unit utilizing thereof.

U.S. Patent No. 5,756,263 to Gupta et al. describes a method of inverting ferroelectric domains by application of controlled electric field.

U.S. Patent No. 5,654,229 to Leplingard et al. describes a method for replicating periodic nonlinear coefficient patterning during and after growth of epitaxial ferroelectric oxide films.

U.S. Patent No. 5,652,674 to Mizuuchi et al. describes a method for manufacturing domain-inverted region, optical wavelength conversion device utilizing such domain-inverted region and method for fabricating such device.

U.S. Patent No. 5,615,041 to Field et al. describes fabrication of patterned poled dielectric structures and devices.

22

U.S. Patent No. 6,002,515 to Mizuuchi et al. describes a method for producing polarization inversion part, optical wavelength conversion element using the same, and optical waveguide.

U.S. Patent No. 5,744,073 to Nihei et al. describes fabrication of ferroelectric domain reversals.

U.S. Patent No. 5,668,578 to Nihei et al. describes a method for fabricating ferroelectric domain reversals, and optical wavelength converter element.

U.S. Patent No. 5,594,746 to Harada describes a method and apparatus for fabricating ferroelectric domain reversals.

U.S. Patent No. 5,526,173 to Yamaguchi et al. describes a method of local domain control on nonlinear optical materials.

U.S. Patent No. 5,249,250 to Yamada et al. describes an optical device having domain structure and method for manufacturing the same.

U.S. Patent No. 5,748,361 to Gupta et al. describes a ferroelectric crystal having inverted domain structure.

23

U.S. Patent No. 5,734,772 to Gopalan et al. describes an inverted domain structure in ferroelectric crystals with polarization in the crystal plane.

*24*SUMMARY OF THE INVENTION

Accordingly, it is an object of one or more embodiments of the present invention to provide an improved method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures within dielectric materials.

Other objects will appear hereinafter.

It has now been discovered that the above and other objects of the present invention may be accomplished in the following manner. Specifically, a poled dielectric microstructure within a dielectric material is provided. The poled dielectric microstructure is then segmented into a plurality of independent sub-structures. The poled dielectric microstructures are then fabricated within each of the plurality of independent sub-structures. Additional processes and a novel poling setup for improving and implementing this patterning and fabrication method are also disclosed.

The present invention will be more clearly understood from the following description taken in conjunction with the accompanying drawings in which like reference numerals designate similar or corresponding elements, regions and portions and in which:

25

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

By definition, ferroelectric materials have spontaneous polarization, i.e. they have internal dipole moments. Desired domain configurations (domains or domain patterns) within the ferroelectric may be formed by controlling the direction of these internal dipole moments. One of the more significant ways to form domain patterns is the application of an electric field to the material to change the direction of spontaneous polarization in desired regions, which is referred to as electric field poling.

This invention discloses a novel patterning and fabrication method of poled dielectric microstructures wherein the desired microstructures within a body of dielectric materials can be fabricated by segmenting the patterning into several optimized structures. This allows fabrication of poled dielectric microstructures in each independent section and thus achieves fabrication optimization. High-quality, high-yield and scaleable poled dielectric microstructures can be patterned and fabricated through this method. Additional processes and poling setups for improving and implementing this patterning and fabrication method are also disclosed.

A generic patterning and fabrication method is disclosed for poled dielectric microstructures or domains as the preferred embodiment of the present invention. Desired microstructures/domains within a body of dielectric materials

*26*

are fabricated by segmenting the patterning into several optimized independent sections which permits fabrication of poled domains in each independent section and thus achieves fabrication optimization. The patterning and fabrication of poled dielectric microstructures/domains in this invention are illustrated by domain reversal within the ferroelectric materials. However, the described patterning and fabrication method can be applied to other non-ferroelectric dielectric materials such as glass materials or polymer materials.

Simply put, a dielectric material structure is provided and segmented into a plurality of independent sub-structures for patterning. The poled dielectric microstructures are then fabricated within each of the plurality of independent sub-structures. A poling station setup to achieve the optimized implementation of the proposed poling process.

#### Preferred Embodiment of the Present Invention

Fig. 1A illustrates a prior art 8 cm of patterned dielectric material 10 having, for example a 4 micron period. Applying an electric field to electrodes 12, (connected to an electric source 17 via a conductive line 15) each having a width 14 and a quasi-phase matched (QPM) period 16, induce individual domains 18 proximate the individual electrodes through the use of electric fields.

Undesirable electric field and electric dipole interference occurs within the body of dielectric material 10 during the poling process to form the domains 18 proximate electrodes 12. The fabrication difficulties occur especially during the challenged short period poling (for example 4-micron period) or aperiodic period poling.

Fig. 1B illustrates the preferred embodiment of the present invention. For example, the large scale 4 cm patterned dielectric material 20 (analogous to the patterned dielectric material 10 of Fig. 1A) is decomposed into two sets of electrodes 22, 24 and respective domains 26, 28 (formed by applying an electric field to respective electrodes 22, 24) each having a 8-micron poling period.

Each respective set of electrodes 22, 24 is connected to respective electrical sources 30, 32 via respective conductive lines 23, 25. Thus, the poling process only occurs for a longer period poling (8-micron), which alleviates the electric field and electric dipole interference within the body 20 of dielectric material during the poling process.

Smaller-Area Poling Patterns - Figs. 2B and 2C

Fig. 2A schematically illustrates a prior art electrode scheme for a large scale patterned dielectric material having electrodes 40 connected to an electric source 42 via a conductive line 44.

28

As shown in Figs. 2B and 2C, to further improve upon the preferred embodiment of present invention, the electrode scheme of the large scale patterned dielectric material is further divided into several subsets with smaller-area poling patterns. This will alleviate the scalability issues due to the large ratio between the total amount of poling time for large area structures (Fig. 2A) and the optimized poling time for each individual microstructures as shown in Figs. 2B and 2C. This reduces the necessity to have good correlation of the uniform domain formation within different sections.

Fig. 2B illustrates an electrode scheme wherein the prior art electrode scheme of Fig. 2A for a large scale patterned dielectric material has been subdivided into three subsets 58, 68, 78 having smaller-area poling patterns. Each respective subset 58, 68, 78 comprises respective electrodes 50, 60, 70 connected to a respective electric source 52, 62, 72 via respective conductive lines 54, 64, 74. Respective domains 56, 66, 76 are induced proximate the individual electrodes 50, 60, 70 by applying an electric field to the respective electrodes 50, 60, 70.

Fig. 2C illustrates an electrode scheme wherein the prior art electrode scheme of Fig. 2A for a large scale patterned dielectric material 120 has been subdivided into four subsets 88, 98, 108, 118 having smaller-area poling patterns. Each respective subset 88, 98, 108, 118 comprises respective electrodes 80, 90, 100, 110 connected to a respective electric source 82, 92, 102, 112 via respective

29

conductive lines 84, 94, 104, 114. Subsequent to the electric field poling, respective domains 81, 91, 101, 111 are induced in the dielectric material 120 proximate the respective electrodes 80, 90, 100, 110.

30

Enhanced Nucleation Structures - Figs. 3B and 3C

Fig. 3A schematically illustrates a prior art electrode scheme for a large scale patterned dielectric material similar to that shown in Fig. 2A and having electrodes 121 connected to an electric source 122 via a conductive line 124. Individual domains 123 are induced by the application of an electric field to electrodes 121.

As shown in Figs. 3B and 3C, to further enhance the uniformity of each small subset having a longer period (Fig. 1B) and/or a smaller poling area (Figs. 2B and 2C), the local electric field intensity is enhanced to thus enhance to formation of initial poling, that is nucleation.

Fig. 3B illustrates an electrode scheme wherein the prior art electrode scheme of Fig. 3A for a large scale patterned dielectric material has been subdivided into two subsets 138, 148 having smaller-area poling patterns. Each respective subset 138, 148 comprises respective patterning electrodes 130, 140 connected to a respective electric source 132, 142 via respective conductive lines 134, 144. The patterning electrodes 130, 140 each have respective nucleation electrode design 131, 141, which enhances the local electric field intensity and thus enhances to formation of initial poling. Respective nucleated domains 133, 143 are induced proximate the individual nucleated electrode design electrodes 131, 141 by applying an electric field to the respective electrodes 131, 141.

3/

Fig. 3C illustrates an electrode scheme wherein the prior art electrode scheme of Fig. 3A for a large scale patterned dielectric material 200 has been subdivided into four subsets 158, 168, 178, 188 having smaller-area poling patterns. Each respective subset 158, 168, 178, 188 comprises respective patterning electrodes 150, 160, 170, 180 connected to a respective electric source 152, 162, 172, 182 via respective conductive lines 154, 164, 174, 184. The patterning electrodes 150, 160, 170, 180 each have respective nucleation electrodes 151, 161, 171, 181, which enhances the local electric field intensity and thus enhances formation of initial poling. Respective nucleated domains 155, 166, 176, 186 are induced proximate the individual nucleated electrodes 150, 160, 170, 180 by applying an electric field to the respective nucleated electrodes 151, 161, 171, 181.

Application of the Present Invention to Simultaneous Electrode Patterning on Both Sides of a Dielectric Material - Figs. 4B to 4E

As shown in Figs. 4B, 4C and Figs. 4D, 4E, the above patterning and fabrication method of the preferred embodiment and the subset division improvement shown in Figs. 2B and 2C and the nucleation improvement shown in Figs. 3B and 3C can also be applied to simultaneous electrode patterning on both sides of the dielectric material to further enhance the poling quality.

32

Fig. 4A illustrates a prior art patterning and fabrication of poled dielectric microstructure within dielectric material 300 which has a strong electric field and electric dipole interference 310 causing non-uniformity and non-symmetric quality on both sides of the patterned dielectric material 300. Solid arrows 301 represent electric field distribution while dash arrows 302 represent dipole of ferroelectric domains.

Wherein Figs. 4B and 4C illustrate employing the method of the present invention on a patterned dielectric material 400 which reduces the field interference with improved uniformity. Microstructures are fabricated sequentially (as illustrated in Figs. 4B and 4C) according to the pattern segmentation. Solid arrows 401 represent electric field distribution while dash arrows 402 represent dipole of ferroelectric domains.

Figs. 4D and 4E illustrate a further improved method of Figs. 4B, 4C of the present invention on a patterned dielectric material 410 by simultaneously patterning electrodes on both sides of the dielectric material 410, which results in very small interference and produces uniform quality on both sides of the patterned dielectric material 410. Microstructures are fabricated sequentially (as illustrated in Figs. 4D and 4E) according to the pattern segmentation. Solid arrows 411 represent electric field distribution while dash arrows 412 represent dipole of ferroelectric domains.

Further Improvement of this Invention by Implementing A Confined Layer within Dielectric Materials Figs. 5B to 5E.

The above patterning and fabrication method of the preferred embodiment and the subset division improvement shown in Figs. 2B and 2C, the nucleation improvement shown in Figs. 3B and 3C, and the symmetry improvement shown in Figs. 4D and 4E, can also be improved by implementing a confined layer within dielectric materials. The function of a confined layer is to alter the material properties and thus suppress the formation of poling within the confinement region. Example of confinement layer within dielectric materials can be formed by ion exchanged or ion-diffusion to dielectric materials. It has been well known that the ion-exchanged process can alter the material properties and thus will possibly suppress the formation of poling. Poled dielectric microstructures can thus be improved by engineering the ion-exchanged patterning in dielectric material, which suppress the domain formation according to the microstructure design.

Fig. 5A illustrates a prior art fabricating of poled dielectric microstructures in ion-exchanged dielectric materials 500. Solid arrows 501 represent electric field distribution while dash arrows 502 represent dipole of ferroelectric domains.

Wherein Figs. 5B and 5C illustrate an improvement method of the present invention to the fabrication of poled dielectric microstructure within a

34

dielectric material 510 with an ion-exchanged pattern as a domain growth confinement layer. Solid arrows 511 represent electric field distribution while dash arrows 512 represent dipole of ferroelectric domains.

Figs. 5D and 5E illustrates a further improved method of the present invention to the fabrication of poled dielectric microstructure within a dielectric material 520 by simultaneously patterning electrodes on both sides of the dielectric materials with a confinement layer. Solid arrows 521 represent electric field distribution while dash arrows 522 represent dipole of ferroelectric domains.

As an example, such confinement layers within dielectric materials 510, 520 can be formed by ion exchanged or ion-diffusion to dielectric materials 510, 520.

The above-described patterning and fabrication method of the present invention can also be applied to different crystal orientation, that is X-cut, Y-cut or Z-cut.

The above-described patterning and fabrication method of the present invention can also be applied to various dielectric materials. Example ferroelectric materials include lithium niobate ( $\text{LiNbO}_3$ ), lithium tantalate ( $\text{LiTaO}_3$ ),  $\text{KTiOPO}_4$  (KTP),  $\text{KNbO}_3$  (KDP),  $\text{BaB}_2\text{O}_4$  (BBO) and their family such as  $\text{MgO:LiNbO}_3$ ,  $\text{ZnO:LiNbO}_3$  etc. and material with pre-ion (proton or Ti) diffusion before poling. The  $\text{LiTaO}_3$  and their family also include crystals at different formats. More

35

preferred ferroelectric materials include  $\text{LiNbO}_3$  and  $\text{LiTaO}_3$  and their family such as congruent  $\text{LiNbO}_3$  (CLN) and stoichiometric  $\text{LiNbO}_3$  (SLN); and the above crystals with doping such as  $\text{MgO:CLN}$ ,  $\text{ZnO:CLN}$ ,  $\text{MgO:SLN}$ ,  $\text{ZnO:SLN}$ .

Other dielectric materials include: glass materials such as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2\text{SiO}_2$ , fused silica or silicate fiber; and polymer materials such as Dispersion Red 1 Side Chain polymer.

#### Poling Setups

Fig. 6 schematically illustrates a conventional prior art liquid contact electrode 702 poling setup 700 which may be used in accordance the practice of the present invention to electrically field pole dielectric material 712. The conventional poling setup 700 of Fig. 6 utilizes liquid contact electrodes 702 connected to a high voltage supply 704 in a circuit having a current monitor 706, a voltage monitor 708 and a resistor 710.

#### Novel Poling Setup 600

Fig. 7 schematically illustrates a novel poling setup 600 to electrically pole a dielectric material wafer 612 in accordance the practice of the present invention, which permits independent poling of each section. The poling setup 600 includes dielectric material wafer 612 supported by wafer base 614 and having

36

electrodes electrically connected to voltage and current supply 618 via conductive lines 616 within vacuum chamber 620. The vacuum within chamber 620 is achieved using a vacuum pump 630 and dry nitrogen may be introduced into chamber 620 from a dry nitrogen source 632.

The voltage and current supply 618 is connected through switching box 622 to a high voltage facility 624. A computer 626 controls the electric field poling process in accordance with the method of the present invention as well as the position of wafer 612 using a position controller 628.

The voltage can preferably be applied sequentially through the pre-wired conductive lines 616 with external switching control via switching box 622/computer 626, or more preferably through moving stages to each individual sub-section contact points.

The novel poling setup 600 of Fig. 7 may also be equipped with a wafer 612 heating element 634 to adjust crystal properties of the dielectric material wafer 612 as it is well known that the material properties such as conductivity and coercive field can be changed through temperature variation of the wafer 612.

Example of Using the Method of the Present Invention With the Novel Poling Setup 600

&gt;7

Patterned electrodes for fabricating dielectric material are decomposed into several subsets of electrodes. Each subset has a longer poling period and a smaller poling area as compared to the complete poled dielectric microstructures.

Improved methods as described in this invention, such as enhanced nucleation electrode design, dual side electrode patterning, and additional ion exchange in dielectric materials, can be incorporated into the patterning and fabrication processes.

Each respective set of electrodes is connected to respective electrical sources via sub-section contact points. Poling of each section is performed via connecting each conductive sub-section contact point to a high voltage facility. The voltage can preferably be applied sequentially through the pre-wired conductive lines 616 to sub-section contact points with external switching control via switching box 622/computer 626, or more preferably through moving stages to each individual sub-section contact points.

Fig. 8 schematically illustrates the implementation of present invention by the novel poling setup of figure 7. Electrical field for poling 950 is applied to each individual section 900, 910, 920, 930 sequentially. Adjacent sections, e.g. 900, 910; 920, 930 can be applied with an additional (optional)

38

electric field 940, which serves as a screening field to change the net electric field distribution within the dielectric material 960.

Applications of the Poled Dielectric Microstructures/Domains Patterned and Fabricated in Accordance with the Present Invention

The applications of the poled dielectric microstructures/domains patterned and fabricated in accordance with the present invention include:

- 1) quasi-phase matching (QPM) for nonlinear frequency conversion and generation of UV, visible light, infrared (IR), Q-switched and ultrashort pulses;
- 2) conversion process can be through second harmonic generation (SHG), sum frequency generation (SFG), difference frequency generation (DFG), optical parametric oscillation (OPO), optical parametric amplification (OPA), optical parametric generation (OPG), cascaded frequency conversion, etc.;
- 3) the fields of application can include a light source for laser displays, laser scanners, laser printing, laser spectrometers, sensing and detection applications and, biology and medical applications;
- 4) optical frequency mixers for optical fiber communication and optical signal processing;
- 5) electro-optic (EO) -optic modulators for beam scanners, sensors and high-speed modulators, etc.; and
- 6) acoustic-optical (AO) modulators and grating assisted devices.

39

While particular embodiments of the present invention have been illustrated and described, it is not intended to limit the invention, except as defined by the following claims.

40

#### 4 Brief Description of Drawings

Figs. 1A, 2A, 3A, 4A and 5A schematically illustrate prior art for patterning and fabrication of poled dielectric microstructures.

Fig. 1B schematically illustrates a top view preferred embodiment of the present invention for patterning and fabricating poled dielectric microstructures.

Figs. 2B and 2C schematically illustrate a top view improvement to the preferred embodiment of the present invention.

Figs. 3B and 3C schematically illustrate a top view further improvement to the preferred embodiment of the present invention.

Figs. 4B and 4C schematically illustrate a side-view of the present invention for simultaneously patterning electrodes on both sides of a dielectric material.

47

Figs. 4D and 4E schematically illustrate an improvement to the side-view of the present invention for simultaneously patterning electrodes on both sides of a dielectric material of Figs. 4B and 4C.

Figs. 5B and 5C schematically illustrate an improvement to the preferred embodiment of the present invention by implementing a confinement layer in dielectric materials.

Figs. 5D and 5E schematically illustrate a further improvement to the preferred embodiment of the present invention by the dual-side electrode patterning and by implementing a confined layer within the dielectric materials.

Fig. 6 schematically illustrates a conventional liquid contact electrode setup with which the preferred embodiment of the present invention may be achieved.

Fig. 7 schematically illustrates a novel setup with which the poling of the preferred embodiment of the present invention may be achieved.

Fig. 8 schematically illustrates the implementation of present invention by the novel poling setup of figure 7.

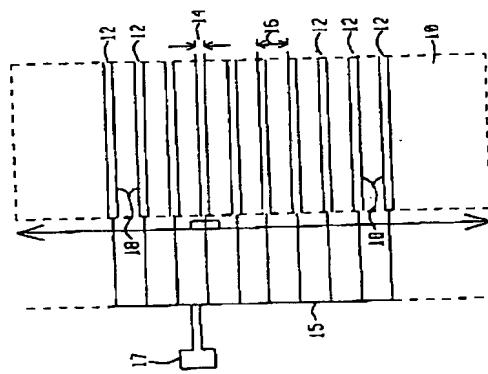
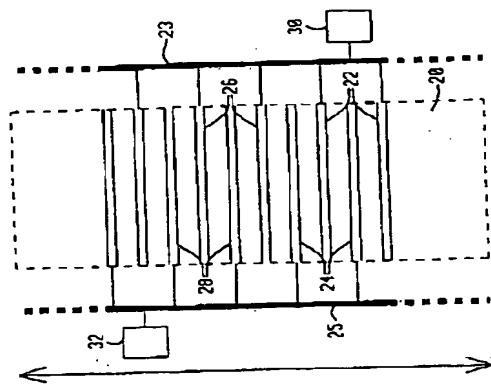


FIG. 1a -  
Prior Art

FIG. 1b

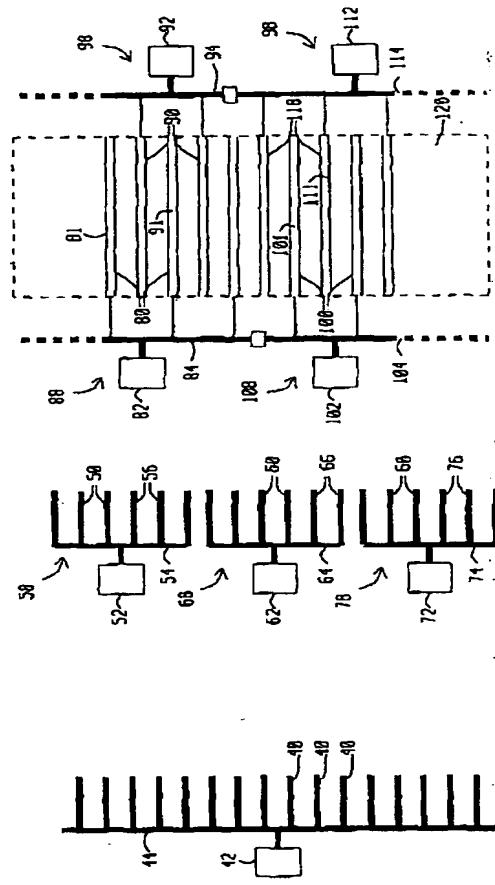


FIG. 2a - FIG. 2b  
Prior Art

FIG. 2c

卷之三

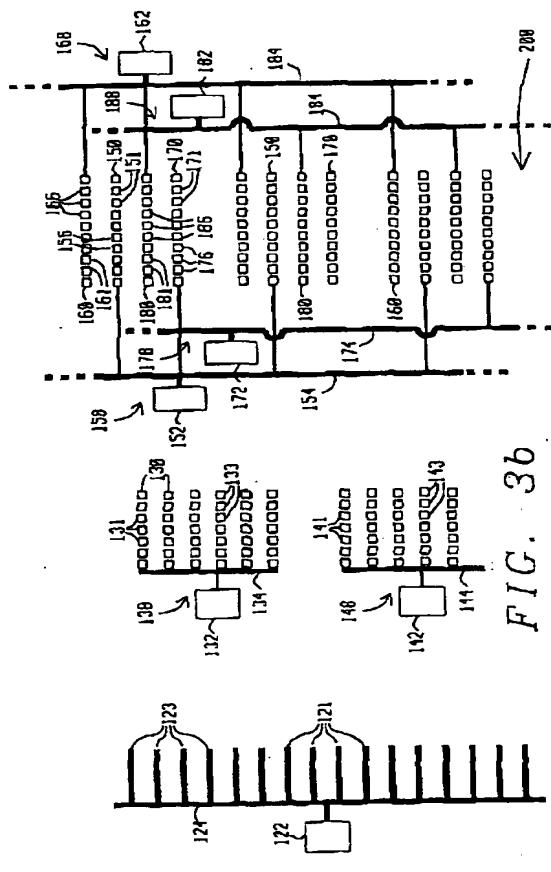


FIG. 3a -  
Prior Art

FIG. 36

FIG. 3C

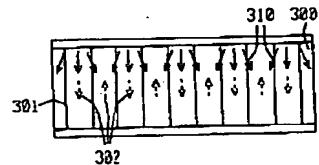


FIG. 4a - Prior Art

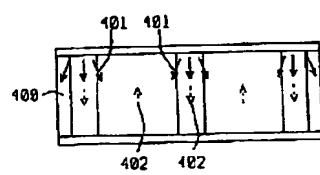


FIG. 4b

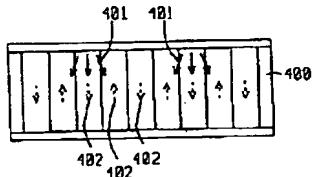


FIG. 4c

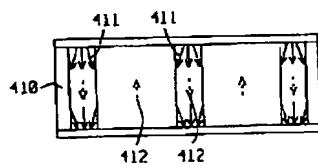


FIG. 4d

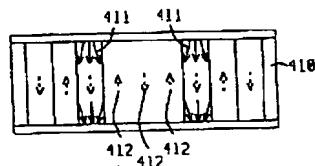


FIG. 4e

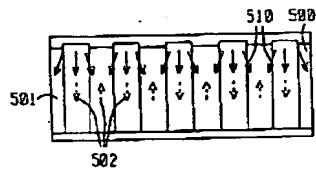


FIG. 5a - Prior Art

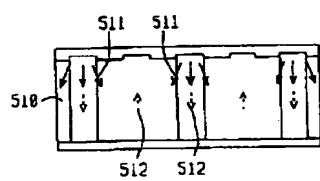


FIG. 5b

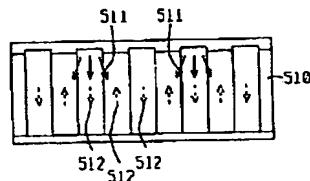


FIG. 5c

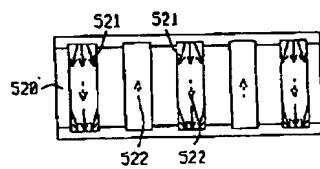


FIG. 5d

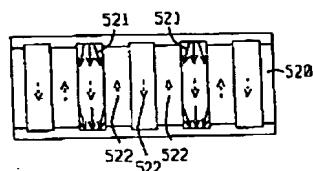


FIG. 5e

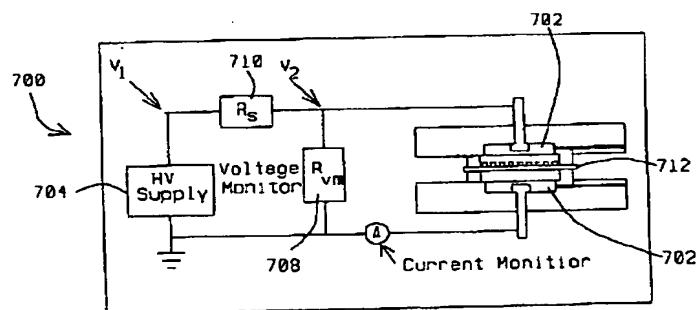


FIG. 6 - Prior Art

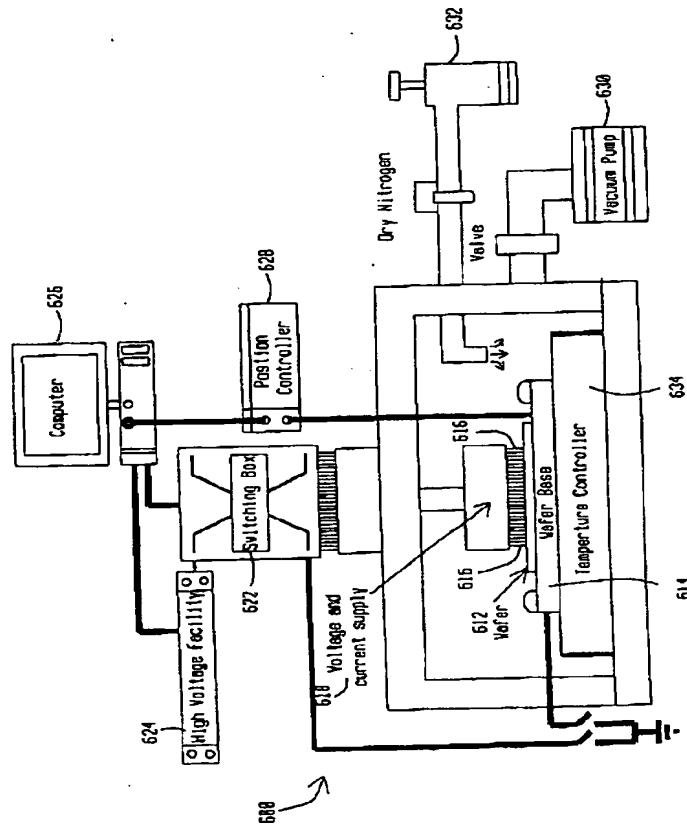


FIG. 7

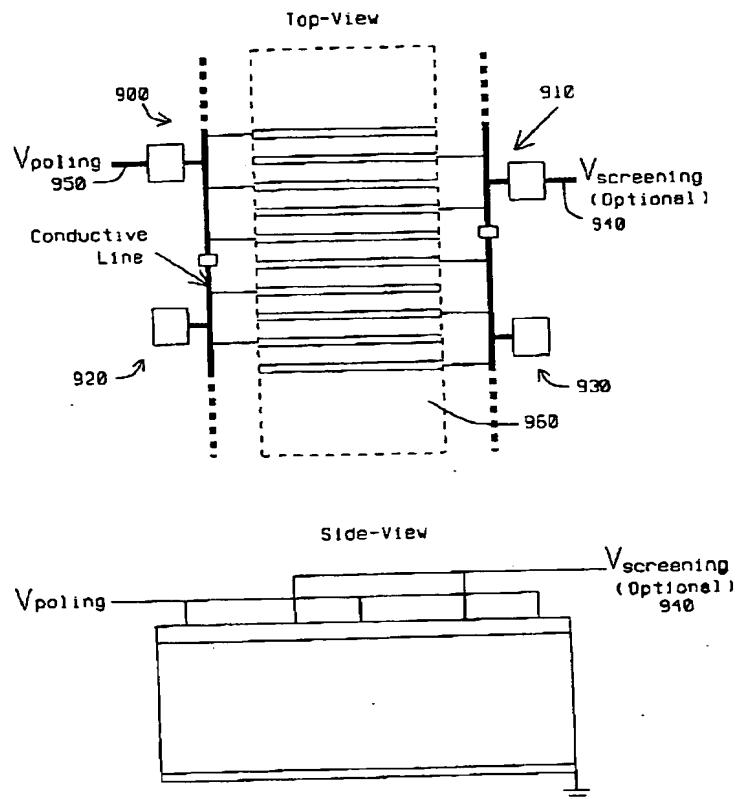


FIG. 8

## 1 Abstract

A method of patterning and fabricating poled dielectric microstructures in dielectric materials comprising the following steps. A poled dielectric microstructure within a dielectric material is provided. The poled dielectric microstructure is then segmented into a plurality of independent sub-structures. The poled dielectric microstructures are then fabricated within each of the plurality of independent sub-structures. Additional processes and a novel poling setup for improving and implementing this patterning and fabrication method are also disclosed.

## 2 Representative Drawing

F i g . 1